DE RATIONE QUA MUSCULORUM DEFATIGATIO EX LABORE EORUM PENDEAT.

DISSERTATIO

INAUGURALIS PHYSIOLOGICA

QUAM

CONSENSU ET AUCTORITATE

GRATIOSI MEDICORUM ORDINIS

IN

ALMA LITTERARUM UNIVERSITATE

FRIDERICA GUILELMA

UT SUMMI

IN MEDICINA ET CHIRURGIA HONORES

RITE SIBI CONCEDANTUR

DIE XXXI. M. AUGUSTI A. MDCCCLXIII.

H. L. Q. S.

PUBLICE DEFENDET

AUCTOR

HUGO KRONECKER

SILESIUS.

OPPONENTIBUS:

E. NUGLISCH, IUD. CAM. REFEREND.
I. SCHIFFER, MED. ET CHIR. DR.
I. KRAUSE, MED. ET CHIR. DR.

BEROLINI

TYPIS EXPRESSIT GUSTAVUS SCHADE.

VIRO

ILLUSTRISSIMO, DOCTISSIMO, HUMANISSIMO

HERMANNO HELMHOLTZ

PRAECEPTORI SUO AESTUMATISSIMO

HASCE

STUDIORUM ACADEMICORUM PRIMITIAS

SUMMA CUM OBSERVANTIA

ANIMOQUE GRATISSIMO

D. D. D.

AUCTOR.

VIR SUMMOPERE VENERANDE!

Quum exiguas has quaestiones physiologicas, quarum priorem partem hoc libello edidi, posteriorem quidem alibi additurus, a Te commotus instituerim, insigni Tuo consilio ductus persecutus sim, praeclara Tua liberalitate, qua mihi subsidia experimentalia instituti physiologici Heidelbergensis adhibere concedebas, adiutus ad propositum, non ab omni quidem parte absolutum, sed, ut spero equidem, non prorsus vanum attigerim: me hocce opusculum plane Tuum habere oportet; quamobrem animum Tibi maxime devinctum sentio, quod etiam nomine Tuo celebratissimo has schedulas ornare roganti mihi permisisti.

Id autem agens, ut gratiam tantis Tuis de meis conatibus meritis certe aliquatenus dignam testificer, abs Te, Praeceptor Aestumatissime, decentissime peto, ut non modo has iam absolutas dis-

quisitiones Tibi dicatas accipias, verum etiam omnes eas, quas ad egregium argumentum, quod Tu proposuisti, quam optime disceptandum instituere in animum induxi, simulac fortuna benigna id otium mihi tribuerit, quod mihi maligna adhuc denegavit. Tum fore spero, ut illud litterarum studium, quod ingenium Tuum splendidissimum in me accendit atque eas in vias duxit, quas Tu in physice physiologica munivisti, amplius declarare Tibique digniora offerre possim. Vale mihique, ut coepisti, favere perge.

Fundamentum legis de conservatione vis, quam legem generatim gravissimam atque ad omnes partes physicalium, quae dicuntur, disciplinarum naturalium adhibendam esse Helmholtz nos primus docuit, ab eodem viro illustrissimo hisce verbis expressum est: „Es ist stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkräfte constant." Etsi vero hanc legem exstare argumentatione theoretica redditum est certissimum, tamen parum modo vel sub simplicissimis conditionibus adhuc contigit, ut illam in processibus physices anorganicae rectam esse experimentis comprobaretur. Quanto magis igitur a conatu abstinere debemus iis subsidiis, quae litterae, ut nunc se habent, nobis praestant, demonstrandi, in processibus organismorum animalium admodum perplexis legem illam gravissimam generatim valere? Nihilominus autem, quum quaestio, qua ratione materiae in corpus animale receptae mutentur, et magni momenti sit practici et multum intersit litterarum, iam saepenumero demonstratio tentata est, vim tensoriam chemicam in processibus organismi chemicis perditam viribus exhibitis aequalem esse. Tametsi disquisitionibus, quaecunque de materiarum vicissitudine institutae

sunt, nondum quod desideratur probari potuit, tamen summae inde partae cum lege illa proposita bene conciliari queunt atque egregiae explorationes recentissimae vias muniverunt, quibus futuri perscrutatores usque ad altum eum litterarum finem pervenire poterunt, ubi, ut verbis utar magni nostri electrophysiologi, „die Physiologie ihr Sonderinteresse aufgebend ganz aufgeht in die grofse Staateneinheit der theoretischen Naturwissenschaften, ganz sich auflöst in organische Physik und Chemie."

Licet vero a proposito plane peragendo adhuc remotissimi simus, processus chemicos, quos receptae materiae in organismo subeant, accurate persequi atque declarare, quemadmodum „hic producti motus moleculares postremo in calorem et laborem musculorum mechanicum commutentur": quaeque tamen res recens detecta, qua nexus inter aliquam vim organismo exhibitam et aliam vim deminutam intercedens confirmatur, sive qua novum affertur eius argumentum, „vitam corporum organicorum non effici vi quadam peculiari, sese semper ex se ipsa regenerante commodeque agente, sed viribus etiam in natura inanimi agentibus produci et peculiariter tantum genere actionis coniunctae modificari[1])," tamquam subsidium ad complexum phaenomenorum, qui in vim vitalem confertur, magis magisque coercendum aptum nobis accepta esse debet.

Pars virium organismo exhibitarum relative quidem levis, sed ad corpus animale sustentandum pernecessaria

[1]) Helmholtz, über den Stoffverbrauch bei der Muskelaction. In Mueller's Archiv. 1845. p. 73.

et foras sola directe transferenda labor est mechanicus, quem motus musculorum efficiunt. In plerisque adhuc factis explorationibus rationis inter corporis accepta et expensa intercedentis impensa virium, quam motus musculorum exigunt, non respiciebatur, ibi quidem summo iure, ubi animalibus, in quibus experimenta fiebant, labor mechanicus, cui non rursus auctio mensuratae quantitatis caloris expensae succedere debebat, non concedebatur. Quin labor musculorum mechanicus aeque atque calor animalis ex immutationibus chemicis originem ducat, non iam ullus physiologus dubitet, quamquam paucis abhinc annis haec opinio omni fundamento experimentali adhuc carebat. Helmholtz[1]) materias actione musculorum consumi primus exposuit et incertam informationem, quae ex observatis defatigationis signis viribusque per quietem paullatim refectis exstiterat, „in effectus mechanicos provocandos materias quasdam ponderabiles vel non ponderabiles absumi, quae perpetuo processibus vitalibus vegetativis regeneratae quantitate quadam accumulentur,“ in formam magis praecisam et experimentis exactis munitam redegit, quippe demonstrans, musculis electrisandis chemicas in iis effectas esse mutationes characteristicas huius generis, ut sine exceptione in perscrutandis musculis electrisatis maior copia substantiarum in spiritu et alcohole solubilium inveniretur, quum in musculis non electrisatis, ceteroqui conditionibus paribus subiectis, hydrextractum adauctum esset.

---

[1]) Ueber den Stoffverbrauch bei der Muskelaction l. c.

Quod du Bois-Reymond[1]) animadvertit, magna musculorum contentione reactionem eorum acidam proferri, quin agendi facultas prorsus tollatur, eo sententia illa corroboratur, quam Helmholtz disquisitione supra memorata primus certam reddiderat et quae observatione eiusdem auctoris, etiam in musculis exsectis actione temperaturam augeri, novum fulcrum acceperat[2]).

Id quoque, quod Georgius de Liebig[3]) reperit, musculos prorsus exsangues, quamdiu facultatem habeant convulsivam, oxygenium recipere et acidum carbonicum excernere eorumque agendi potestatem imprimis ex hac respiratione pendere, documento fuit, immutationem chemicam in musculis existere, quam actione augeri Valentin[4]) detexit, quum musculis ranarum irritandis et receptionem oxygenii et excretionem acidi carbonici magnopere augeri cognosceret.

Actionem musculorum una cum iis, qui rebus modo allatis addubitari nequeunt, directis effectibus ad mutationem in musculis obviam adeo etiam in materiarum vicissitudinem omnino vim exercere intendentem, id complures

---

[1]) Berichte der Berliner Academie der Wissenschaften. 1859.

[2]) Cum eo etiam convenit, quod experientia compertum habemus, in musculo cordis, qui maxime et creberrime intra vitam actuosus fit, eas materias, quae communiter ipsa decompositionis producta substantiae muscularis habentur, praecipue creatinum, longe copiosiores reperiri, quam aliis in musculis plerumque quiescentibus.

[3]) Ueber die Respiration der Muskeln. In Mueller's Archiv. 1850. p. 413.

[4]) Vid. Archiv für physiologische Heilkunde. 1854. p. 477.

observationes consentientes declarant auctorum Scharling, Vierordt, Gerlach, qui in productis respirationis copiam acidi carbonici actione musculorum auctam invenerunt.

Attamen haec materiarum permutatio inter actionem musculorum augescens, ut experimenta ad unum omnia contestantur, non solum calore evolvendo, substantiis oxydatis accumulandis, prodeunte acido libero (acido lactico, ut veri est simile), maiore acidi carbonici excretione manifestatur, verum simul etiam peculiaris ille musculi status oritur, quem nos voce *defatigationis* designamus, qua voce musculum in hoc, qui significatur, statu perinde ut antea fortiter agere non posse indicetur.

Defatigationem autem cum magnitudine temporisque spatio susceptae contentionis increscere experientia quotidiana satis ostendit. Itaque musculum possumus defatigatum sumere, in quo commutatio materiae per actionem aucta reperta est. Iam si defatigatio sola mutationis chemicae functio esset, ergo status deminutae agendi potestatis adduci non posset, quin simul maiorem materiarum consumtionem in musculo provocaret, loco usitatae, non expeditae methodi auctam permutationem chemicam constituendi deminutio agendi facultatis musculi, subsidiis simplicibus exploranda, rationem expeditam nobis suppeditaret dependentiam, ut ita dicam, vicissitudinis materiarum intramuscularis sub variis conditionibus, in quas musculum redigimus, accuratius cognoscendi. Atqui observata variabilis magnitudo agendi potestatis est resultans (*Resultante*) reagentium, irritabilitatem musculorum resti-

tucntium et evertentium momcntorum, quorum effectus non plane nobis separarc licct.

Sanguis ct succus muscularis sunt sustcntantes, numerosa irritabilitatcm dcprimcntia momenta destruentes compositores contractibilitatis. Effectus sanguinis facile potest eo summoveri, quod perquirenda massa muscularis circulationi subducitur, quo facto solus succus muscularis residet, qui restitutioncm agendi potestatis contentionibus imminutae conciliare potest. Genus regenerationis iam prodit, cam ex penore quodam fluidi nutricii exhauriendo consequi, quo phaenomeno iam commemoravimus physiologos primum csse ad suspicandum adductos, actioni musculorum consumtionem materiarum adiunctam esse. Sed, ut iam diximus, aucta metamorphosis chemica minime omnibus defatigationem sccum ferentibus processibus in musculo provocatur. Eximcnda enim sunt omnia momenta, quac agendi facultatem musculi aut exstinguunt aut comminuunt, quin musculum ad agendum stimulaverint. Huc spectant verbi causa continens magna musculi tensio, magna temperaturae auctio succcssiva mcdii illum circumdantis, effectus aquae calidae, subductio omnium gasorum respirabilium, cffectus multorum chemicorum agcntium dilutorum, quorum concentratorum applicationi destructio loci affecti cum convulsionibus coniuncta succedit; praeter alia ctiam tcmpus, quo, si convulsioncs arescentiae praccaventur, deminutio agendi potestatis paullatim procedcntem rigoris cadaverosi evolutioncm comitans efficitur[1]).

[1]) Cfr. Wundt, die Lehre v. d. Muskelbewegung. 1858. p. 68.

Praeterea tamen omnis contractionem commovens impulsus pro defatigationis causa sensu, ut aiunt, latiore habendus est, id est, nullum novimus remedium stimulans, quod non per se irritabilitatem musculi deprimat, ut mittamus defatigationem sensu strictiore, quae actione antegressa maiorem materiarum consumtionem affert.

Vel momentum voluntatis vivi organismi, quod per nervos musculum ad contractionem adigere potest, videtur, ut pluribus ex signis actionis musculorum concludere licet, in irritabilitatem musculorum vim deprimentem exserere, etsi multo minorem, quam omnia reliqua, quae novimus, convulsiones excitantia. Veluti peculiarem lassitudinis sensum in musculo deltoideo percipimus, si brachium diutius horizontaliter exporrectum tenemus, quae lassitudo mox intolerabilis fit, neque longiorem tetanisationem musculorum illam extensionem conciliantium concedit, quamquam gravis quaedam opera mechanica hic non praestatur et caloris, si qua oritur, evolutio magno labori aequivalens esse nequit, quoniam necessariam sequelam maioris materiarum consumtionis, auctam respirationem auctumque calorem communem non cernimus, dum alternantem brachii sublationem et demissionem, ubi iidem musculi actuosi fiunt, diutius continuare possumus, quin, quamvis hic maior materiarum vicissitudo satis conspicua sit, sensus defatigationis tam celeriter percipiatur. Pariter, quod haud ignotum est, modica ambulatione multo minus fatigamur quam diuturniore statione erecta, etiamsi positionem eligamus commodissimam, in qua tantum complexus musculorum gastrocnemiorum agere debet. Haec quoque anim-

adversio momentum commotionis voluntatis, quod agendi facultatem deprimat, prodere videtur, quandoquidem ad aequipondium in statione servandum perpetua musculorum tetanisatio requiritur, dum ad itus motiones conciliandas per intervalla modo contractio musculorum exigitur. De magno discrimine resolutionis virium ex musculorum contentione non labore mechanico provocata prodeuntis et eius resolutionis, quae ex materiarum consumtione consequitur, iam Mayer in libro multas et res et observationes notabiles continente mentionem fecit, quippe haec dicens[1]: „Die schmerzhafte Ermüdung, welche ohne erhebliche Production mechanischer Kräfte eintritt, unterscheidet sich, soweit man ausschliefslich physiologische Verhältnisse im Auge hat, von der durch Stoffverbrauch bedingten Erschöpfung in zwei Hauptpunkten. Da die Primitiv-Nervenfasern unter sich nicht anastomosiren, so bleibt die nervöse Ermüdung auch in ihren höchsten Graden stets local, sie beschränkt sich ohne Ausnahme auf die wirklich in Anspruch genommenen Muskelgruppen. Die Erschöpfung dagegen, wenn sie nicht durch ein nur momentanes Uebermafs der Leistung schnell vorübergehend erzeugt wurde, verbreitet sich gleichförmig über das ganze Muskelsystem. Der Arm, der von einer anhaltenden Extension ermattet niedersinkt, vermag unmittelbar darauf sich kräftig zu beugen; den ruhenden Arm der entgegengesetzten Seite befällt die Ermüdung nicht; dagegen sind nach einer anstrengenden Fufstour die Arme so wenig, als

[1]) Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel p. 110.

die Füfse zu weiteren Leistungen aufgelegt. Da ferner bei der Anstrengung ohne Leistung kein Verbrauch zu mechanischen Zwecken stattfindet, so schliefst die Ermüdung *sine materie* auch in ihren höheren Graden die Leistungsfähigkeit keineswegs aus."

Inde a commotione voluntatis convulsiones expediente usque ad ferrum candens, cuius effectu vehemens contractio tetanica, perfectam substantiae contactae eversionem antecedens producitur, longam cognitam habemus seriem stimulantium, cuius membra primum et postremum ipsa illa modo nominata stimulantia sunt. Alterum membrum seriei stimulantium et commotioni nervorum in vivo organismo agenti valde affinis censeri debet electricitas et ex hoc quidem genere inductio galvanica, utpote quae sit species efficacitate sua conciliationi voluntatis proxima. Eam adhibentes non solum intensitatem stimulationis intra amplos terminos variare, sed eandem etiam per tempus longius constantem servare, ergo momentum vicissitudinis materiarum, quod una cum stimulo nocenter quidem, sed aequabiliter agente sese manifestat, non interpellati contemplari possumus. In pervestigandis sane musculis exsectis semper inevitabile temporis momentum nocivum summas conturbabit, id quod iam Weber[1]) monuit, diserte ille quidem dicens, mortificationem musculorum a mera defatigatione distinguendam esse: illa enim elasticitatem fieri maiorem, sed magis imperfectam, hac eandem

[1]) In Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. T. II. Art. Muskelbewegung p. 116.

(ex auctoris opinione, quam Wundt[1]) reprobavit) deminui[2]).

Ratio ex iis, quae exposuimus, concludenda, ambos factores postremos — hebetationem dico irritabilitatis per stimulationem et mortificationem (ineuntem rigorem cadaverosum) — vel in casu maxime secundo, in contractione musculorum exploranda, ad defatigationem validos manifestari, ad suspicandum ansam dare posset, commotionem cum metamorphosi chemica simul prodeuntem potissimum remediis stimulantibus ac procedente mortificatione effici, nisi aliae res experientia crebro comprobatae nexum defatigationis cum vicissitudine materiarum accelerata indubium redderent.

Nemo nescit, montis adscensione nos magis fatigari quam descensione, quamquam eaedem musculorum contractiones, nisi quod in altero motionis genere ordo earum contrarius est atque in altero, exsequendae sunt. Insuper in primo motionis genere aucta et temperatura et respiratio, certa indicia maioris materiarum vicissitudinis comparent. Iam verba haud raro sine ullo discrimine usurpata: *Athemlosigkeit*, *Erschöpfung*, *échauffirt*, *angestrengt*, *erhitzt sein*, nexum inter effectum et sequelam processus vim tensoriam in vivam commutantis intercedentem indigetant. Possit sane quispiam coarguenti experientiae, quam attulimus, quotidianae etiamnunc oppo-

1) Die Lehre von der Muskelbewegung p. 177.

2) Wundt commotionem probavit ad elasticitatis mutationem nihil pollere hancque solum, uti statum contractioni comitantem, cum ea maiores et minores, ut aiunt, valores accipere.

nere, nos in motibus voluntariis ad maiora opera perficienda etiam fortiore voluntatis impulsu indigere atque aucta hac stimulatione fortasse defatigationem accelerari.

Tales vero hypotheses refutare et experimentis evincere, musculorum defatigationem e magnitudine laboris eorum mechanici pendere, huic disquisitioni propositum est. In qua id imprimis spectabimus, ut modificationibus, quae vicissitudinem materiarum afficiunt, mutatam defatigationem quam maxime ex momentis aliis non suspensam declaremus.

Perscrutationibus, quas initio commemoravimus, cum actione musculorum consumtionem materiarum augescere probatur. Nobis igitur amplius quaerendum, num metamorphosis chemica cum auctione laboris actione musculorum perfecti increscat, sive aliis verbis, num defatigatio (ut functio vicissitudinis materiarum) ex opere mechanico contractione musculorum facto pendeat.

Haec quidem quaestio amplior exactis illis experimentis, quibus prior ad exitum est adducta, minime simul confecta est. Deberemus tunc, quod dudum falsum cognitum est, id sumere, effectum contractionis ex intensitate stimulationis suspensum esse, quemadmodum fere elasticitas e calore, aut celeritas corporis alicuius cadentis ex altitudine spatii emensi: quo facto a priori pateret, stimulo datae qualitatis et quantitatis ad certum quendam musculum applicato tantum plane certam virium tensoriarum copiam immutari posse, sive in labore mechanico sive in aequivalente caloris quantitate; nec minus conclusio haec paradoxa probabilis foret, pares musculos paribus stimu-

lantibus ad agendum adductos eodem tempore defatigari debere, sive alter opus faciat mechanicum et alter non faciat, sive ambobus occasio ademta sit, vires suas contractione usui redditas directe ut motorias in res extra nos positas transferendi. Atqui stimulatio, quod est notissimum, succedentem contractionem tantummodo exsolvit datque solum ansam dislocationis molecularis tum per se progredientis, quae sane intra certos quosdam limites in universum cum intentione tenuis stimulationis electricae magnitudine accrescit.

Ac profecto exigua illa, quae ex duas vel tres minutas tenente vehementique, utique penitus exhauriente tetano evadit et ab Helmholtz animadversa est, auctio temperaturae in musculis femorum ranarum nequaquam magno ei labori mechanico aequivalens existit, quem musculus ranae gastrocnemius praestare potest.

Ut igitur altera quaestio disceptari queat, musculus sub conditiones redigi debet, in quibus copiosiorem vim tensoriam suppetentem in vim vivam mutare potest, quam sine onere suspensus, qui vires suas, praeterquam caloris productione, tantum perparva laboris mechanici magnitudine, quam suo ipsius pondere dimidio tollendo[1]) praestat, in usum vocare potest[2]). Illud ratione simplicissima sic

---

[1]) Vid. Wundt l. c. p. 225. not.

[2]) Etiam actio, quam musculus per compressionem suarum ipsius telarum in semet ipso exercet et quae secundum experimenta ab Erman et Weber instituta (cfr. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. T. II. Art. Muskelbewegung p. 116) deminutione quadam voluminis manifestatur, postremo tamen sola caloris evolutione exprimi potest.

fit, ut musculo pondera annectamus, quae contractione in altitudinem facile metiendam tolluntur. Labor ita patratus, id est, virium consumtio, uti notum est, producto ex altitudine ponderisque intensitate et massa corporis sublati, seu, quod est idem, altitudine pondere corporis multiplicata constituitur. Mensurae monade deinceps uno grammocentimetro utemur.

E. Weber in opere fundamentali iam citato nos docuit, usus effectum (ut laboris magnitudinem contractionis dicit) cum defatigatione decrescere, sed modo impari in diversis onerationibus, quum facultas musculorum onera tollendi celerius minuatur quam sese contrahendi, ita ut musculi in posterioribus defatigationis stadiis maiorem conficiant laborem parvis ponderibus onerati, quam si magis onerati se contrahant. Haec animadversio cum eo convenit, quod Helmholtz observavit, curvam tensionis altitudinum musculi fatigati serius initium capere omninoque non eam assequi altitudinem, quam recentis. Explorationibus, quae modo allegata commentatio continet, commonstratum est, quod etiam Weber iam cognovit, effectu defatigationis ante omnia non prorsus abnormia, in musculis fortibus non conspicua signa characteristica provocari, sed primitus validos, fatigatos musculos infirmioribus, recentibus analogos existere eorumque tensionis curva mutationem, si curvam contuleris musculorum non defatigatorum, eandem ostendi atque ea curva, quam construere possimus intensitatem rivorum excitantium eatenus infirmantes, ut energia musculi multum minuatur, aut eo, quod musculum iam onere tensum onus nimium de fundamento tollere faciamus.

Ea solum res, quam Helmholtz detexit, quod in posterioribus decrescentis agendi potestatis stadiis temporis spatium contractionis accrescit, quippe quum et tempus stimulationis latentis crescat et tota curva prolongetur, quoddam in decursu procedente vires musculares ratione non modo quantitativa, verum etiam qualitativa immutans momentum defatigationis prodere videtur. Symptomata defatigationis characteristica criteriis in laboribus, quos attulimus, constitutis accurate definita sunt. Etiam circa decursum irritabilitatis decrescentis Weber nonnullas res graviores protulit, namque experimentis progressionem defatigationis musculorum valde oneratorum, comparatis musculis minus oneratis, celeriorem comprobavit; praeterea prolongationem non onusti musculi, per quam maxime aequabilem apparatus rotatorii tetanisantis conversionem ad se contrahendum adacti, magna ab initio celeritate, sed paullatim magis magisque decrescente consequi exposuit[1]; denique refectionem exsecti tetanoque funditus exhausti musculi in pari ei ad quietem concesso temporis spatio semper imperfectiorem fieri, quo frequentius sese contrahere coactus sit[2], simulque curvam tensionis altitudinum, collata temporis abscissa, cum defatigatione augescente semper breviorem evadere monstravit.

Wundt, qui in libro de motu musculorum summas disquisitionum Weberianarum multum emendavit et supplevit, etiam legem de defatigationis prolongatione musculorum tetanisatorum a Weber propositam adhibita methodo

---

[1]) L. c. p. 70. 71. — [2]) Ibid. p. 72.

experimentali graphica in formam magis praecisam magisque generalem redegit[1]), etiam oneratos atque exhaustos musculos considerans. De „decursu defatigationis sub causis per intervalla agentibus“ circa casum specialem, in quo „recens commotio tetanisans semper eo temporis puncto efficax existit, quo musculus a convulsione, quam praegressa quaedam commotio pari et qualitate et intensitate excitavit, ad longitudinem status sui quieti revertitur,“ plura experimenta consignavit, unde momentum laboris patrati defatigans alio modo ac stimulationis manifestari elucet.

Decursus actionis musculi non onerati et alterius viginti grmm. onusti, qui fig. 18 et 19 p. 190 et 192 expressus est, nos concludere sinit, momento stimulationis irritabilitatem deprimi, quamobrem musculus, antequam convulsionem incipit, numero ictuum semper maiore indiget, ergo convulsionum numerus in temporis monade semper minor fit, dum actus labor mechanicus ambitum contractionis deprimit. Nondum tamen decernere ausim, nonne forte curvae convulsivae non onustorum musculorum fatigatorum tardissime desidenti deminutio copiae convulsionum adscribenda sit, ita quidem, ut musculus tam paullatim in catenam excitantium inductionis ictuum irrepat, ut et primi eum ferientes stimuli tenuiores sint, quam quibus ad contractionem adigi queat, et irritabilitate praeparati subinde magis magisque decrescente utique tempus semper longius praetereat, quoad stimuli sat fortes exstiterunt, ut musculum ad se contrahendum commoveant, dum onustus mus-

[1]) L. c. p 183. 187.

culus ipso pondere eum tendente rursus tam repente in rivos inducitur, ut ictus protinus plena intensitate eum afficiant. Quod Wundt[1]) animadvertit, sub effectu onerationis recreationem musculi fatigati multo fieri imperfectiorem, aut tensione maiore defatigationem adeo accelerari posse, id cum observationibus modo allatis coniunctum quempiam ad opinandum inducere possit, in laborando decrescentem contractionis altitudinem musculi se convellentis solum vel potissimum ex pondere cohaesionis statum musculi perpetuo mutante pendere. Attamen haec hypothesis, quae iam eo veri fit dissimilis, quod effectus actionis fatigans longe prius quam onerationis incedit, experimentis infra referendis, ubi momentum tensionis in laborando paene prorsus summotum est, directe refellitur: ut omittamus, res modo expositas, per se eas quidem valde notabiles, ad perspicuam fatigantis effectus actionis imaginem exhibendam non sufficere, id quod inde repetendum, quod tum observationes illae tantum singula quaedam actionis muscularis exempla experimentis explorarunt, tum adhibitae methodi experimentales vitio summas perquam conturbante laborant. Nimirum experimenta, quae memoravimus, cuncta in musculis tetanisatis facta sunt, quare ex summis eorum nihil certi de nexu defatigationis e labore mechanico colligere licet. In universum modo illis haec suspicio confirmatur, deminutionem agendi potestatis cum decrescentia substantiae decompositione sua contractionem conciliantis congredi.

Ad magnitudinem effectuum actionis muscularis me-

---

[1]) L. c. p. 143.

chanicorum explorandam omnia, uti iam monuimus, reliqua momenta illi officientia quam maxime imminuere debemus, quo praestationem quandam maximam comparemus. Labor, quem musculus eo praestat, quod semel e statu quietis in motionem transgreditur, levissimus est, quantumcunque per tempus in statu altero perseverat, et quum Weber effectum huiusce processus nuncupat usus effectum (*Nutzeffect*), huic nomini significationem longe strictiorem tribuit, quam ei vulgo tribuitur, eoque ad leges pervenit, quas ad characteristicen usus effectus sensu latiore neutiquam adhibere licet.

Quod per stimulum tetanisantem effectus contractionis nonnihil promovetur, eo vis deprimens in magnitudinem effectus universi exercetur, qui potissimum cum numero singulorum eum constituentium productorum, id est, cum celeritate vicissitudinis quietis et motionis accrescit. Hoc grave discrimen, quo Helmholtz ad processus simplicis musculorum convulsionis accuratius perquirendos ductus est, idem vir illustrissimus his verbis primus notavit: „Der andauernd gleichmäfsig erregte Muskel bringt durch die erschöpfendste Anstrengung keine Arbeit im Sinne der Mechanik hervor; er bewirkt nur, dafs die Körpertheile in einer neuen Gleichgewichtslage ruhend verweilen. Um eine Arbeit zu leisten, Bewegungen des eigenen Körpers oder Veränderungen in der Aufsenwelt hervorzubringen, mufs der Muskel zwischen Ruhe und Erregung wechseln, und die Gröfse seiner Arbeit wird wesentlich von der Geschwindigkeit des Wechsels abhängen[1].“

[1]) Mueller's Archiv. 1850. p. 276. 277.

Defatigatio, quam in musculis tetanisatis, licet levem praestent laborem, percipimus, partim, ut iam vidimus, ex momento vehementis stimuli ipsius agendi facultatem exstinguente, tum vero etiam e contentione provenit, qua musculi tetanisati ad aequilibrium cum gravitatione contractioni musculari repugnante conservandum uti debent. Haec autem opera minime sic intelligenda est, quasi nullas vires musculi impendendas requirat atque Mayer, quum in scripto iam allegato ait: „die Ermüdung scheint hier (in dem Falle, wo ein Mann mit grofser Anstrengung ein Gewicht frei hält) von dem anhaltenden Druck auf die Nervenverzweigungen herzurühren; die damit verbundene Sensation ist dem sogenannten Einschlafen eines Gliedes nicht unähnlich," sicut deinceps: „die Nerven mahnen das Individuum, von zweckwidrigen Unternehmungen abzustehen," ex opinione minus recta proficisci videtur, musculum specie constanter contractum in stabili quodam aequipondii statu versari viribusque, quae in eum agunt, prolongantibus similiter reluctari atque per cohaesionem suam aliquod quiescens corpus solidum. Huic opinioni convenienter Mayer praestationem viri, qui per plures horas immobilis stat aut pondus pensile tenet, cum praestatione figurae ligneae comparat, quae „aequale quid, imo etiam multo plus perficere possit," et perversitatem talis contentionis in indirectis exinanitionis causis numerans ad conclusionem pervenit, „ad pondus libere pensile servandum neque organismum animalem neque machinam vaporariam instrumentum esse idoneum, sed restim cannabinam hoc in casu utilissimam esse." Cuius generis

contemplationes teleologicae vi probandi carere nemo negaverit. Ceterum du Bois-Reymond sententiam, quam iam supra commemoratae mutationes inter actionem in musculo prodeuntes permittebant, in musculo tetanice contracto perpetuum exstare vehementem motum molecularem, rectam esse perscrutationibus directe demonstravit.

Negativa rivi fluctuatione ab du Bois-Reymond detecta et convulsione ex musculo contracto secundaria, cuius propriam naturam idem auctor primus explicuit, certissimum redditum est, musculum tetanisatum non in statica, sed in dynamica aequilibrii conditione versari, quam eo fortius retinet, quo acrior impetus molecularis, quo maior eum indicans repulsus est acus magneticae.

Vis musculo onusto et tetanico insumenda utique ex pondere temporisque spatio praestationis pendet atque huius magnitudo per productum $p. t.$ directe definita est; effectus eiusdem, qui propter terrae attractionem expediri nequit, effectu antagonistico sublato massae $\frac{p}{g}$ eandem impertiret celeritatem, quam illa post liberam et aequale tempus durantem praecipitationem in terram haberet.

Statum quendam aequilibrii, qui tantummodo viribus impensis sustineatur, adduci posse et frequenter in natura reperiri non est, quod pluribus exponamus.

Musculus vero, qui sub tetano intenso pondus adversus effectum gravitatis pensile tenet, non inconvenienter cum natatore conferri possit, qui vehementi fluxui reluctans omnibus viribus adhibitis soli tantum undarum impetui resistere potest, quum artubus defatigatis flumine secundo repellatur. Sane navicula ad terram alligata longe diutius

resistet, nihilominus autem nemo ideo naviculae maiorem virium impensam quam natatori laboriose repugnanti vindicare velit, aut vice versa ex effectus analogia ratiocinari, hominem remis incumbentem non ad impensam virium defatigationem suam referre debere, sed ad nervorum eohortationem, ut conatu perverso absistat.

Laborem tamen mechanicum sub certa quadam oneratione musculus tum demum et tamdiu modo exsequetur, quam effectus magnitudo suae contentionis contrarie agentem gravitationis superat, nam tunc solum vi viva insumta summa virium tensoriarum augetur. Productum *p. h.*, ut notum est, servit magnitudini laboris metiendae et magnitudini virium exhibitarum definiendae, eo tempore non respecto, quod ad opus quoddam faciendum necessarium fuit. Itaque virium consumtionem musculi tetanice contracti et operam praestantis non directe nobis comparare licet. Illic tantum magnitudo vis attractionis, quae inefficax facta est, hic solum quantitas vis vivae computatur, quam musculus in vim tensoriam commutavit. Ibidem praestatio laboris, ut per se intelligitur, simul superationem vis tractoriae complectitur et forma quidem curvae convulsivae rationem ostendit, gravitationi deorsum agenti cum vi musculari sursum agente intercedentem, quae vis intra tempus energiae increscentis inertia massae sublevatur.

Proinde musculus in universum plus virium contendet, ut laborem mechanicum exsequatur, quam ut contractus momento onerationis tendenti resistat, quare maior existet materiarum consumtio et verisimiliter citior defatigatio.

Hunc quidem alterum effcetum operis mechanici patrati manifesto cerneremus, si valore operis multum augendo, quin aliae conditiones agendi potestatem deprimentes inducantur, momento eius magnam gravitatem conciliare possemus. Sed ad hunc finem eonsequendum tantum opus foret, decursum defatigationis musculi per inductionis ictus quam lentissime sibi succedentes modo in tetanum redacti explorari, deinde ictuum numerum in temporis monade adhuc nonnihil imminui atque sic museulum ad seriem singularum eonvulsionum eeleriter sequentem excitari, quo facto, ut mea quidem fert opinio, eurva defatigationis decursum magis praceipitem capere deberet. Verumtamen magnus defatigationis effeetus secundarius, ad quem infra revertemur, sicut omnino telarum animalium ineonstantia summas experimentis partas saepissime conturbans illam methodum seopo nostro inutilem reddunt.

Ut igitur huic rei iniquae oceurramus, duos musculos contemplari debemus, quos, siquidem sub externis eonditionibus plane paribus se prorsus aequaliter haberent, habitu diverso, quum in uno tantum perserutandum defatigationis momentum modifiearetur, effectus genus immutationis manifestare necesse foret. Sed hie quoque in vitiorum fontes incidimus, quorum maximus et gravissimus ac propterea, quod evitari nequit, perniciosissimus in proprietatibus inest individualibus, quibus saepe vel cognomines musculi eiusdem animalis non utuntur. Atque primo obtutu haecce methodus fere videtur ad momenta defatigationis eruenda non magis apta esse quam antegressa: illa tamen multiplieem nobis dat oeeasionem dispositione

experimentorum varianda effectus adversos summovendi et eo, quod collationem effectuum muscularium eodem tempore comparentium directam concedit, superiori methodo, qua unus dumtaxat musculus consideratur, adeo praestat, ut, utra eligenda sit, omnino non dubitare liceat.

Hac igitur via praestantiore, quam subinde accuratius explanabo, ad summam plus minusve quidem conspicuam, nunquam vero sibi repugnantem perveni: *duorum pari modo oneratorum et inductionis rivis eiusdem intensitatis in contractionem redactorum musculorum eum, qui per longius tempus continuum stimulo tetanisante affectus laborem mechanicum exsequi nequeat, serius fatigari quam illum, cui per crebram quietis et motionis vicissitudinem vires suas in usum effectus mechanicos conciliantem vocandi occasio detur.*

Dispositionem experimenti imago schematica *A.* tab. II repraesentat.

Poli *b* et *c* spiralis secundariae apparatus traharii a du Bois-Reymond constructi cum nudatis nervis ischiadicis amborum ranae gastrocnemiorum ita iungebantur, ut portio nervea *g. f.* alterius musculi (*M. I*) cum filo conductorio *b. a. g.* clausuram secundariam pro ea, quae per nervum alterum ducit, rivi via *c. h. d. b.* pari paene cum hac resistentia conformaret.

Apud *a* perpendiculo parvi horologii Melanylaci septuagies aut octogies singulis minutis per paria temporis intervalla conductio *b. g.* sic restituebatur et tollebatur, ut iunctura *b. g.* semper per secundae fere partem septi-

mam vel octavam clausa maneret, dum spira tetanomotoris perpetuo aequabiliter vibrans sustinetur.

Musculi cum nervis suis, in spatio vapore aquae saturato ab arescentia tuti, per apparatum a Wundt propositum et in libro, qui est de motu musculorum, fusius descriptum[1]) mihique benevole commodatum cum distantia circiter unius centimetri iuxta se suspendebantur eoque separabantur, quod pro hastula chalybea illius apparatus bacillum vitreum altero fine in cuspidem extracto per articulos genu in praeparando non laesos transactum erat.

Pondera onerantia alteri musculo (*M. I*) per apparatum quendam intermedium annexa erant, illi a Wundt proposito[2]) analogum, nisi quod hic, ut etiam ex effigie accuratius considerata perspicies, tum bacillum chalybeum, crepidinem, quae continet lancem, cum musculo copulans, in partes duas, per hamulos utrobique ad finem applicatos laxe connexas, divisum est; tum vero etiam pars inferior, meatu cochleae instructa, super quo globosa cochleae matrix mobilis exstat, per portionem furcillatam, quae est ad statumen affixa, ducta est. Hanc portionem furcillatam oportet matrici cochleae fulcrum suppeditare igiturque, si opus est, tensionem musculi quiescentis pondere annexo prohibere. In oleum immersae rectisque angulis compositae alae micaceae fluctuationes apparatus oneratorii impedire debent. Ut tamen meatus spirae signantis, ad partem superiorem bacilli chalybei affixae, cuius in apparatu signatorio describendo denuo mentionem faciemus, ne a directione verticali declinet, prorsus prohibeatur, cum non-

---

1) P. 37. — 2) L. c. p. 37.

nulla distantia super se duae, aperta sua latera ad se advertentes, ineisuris formam iaeentis Romani V (>) referentibus praeditae, portiones eburneae adstrnetac sunt, intcr quas bacillum lacvigatum cum frietione minima sese sursum deorsumque movere potest.

Apparatus oneratorius musculi sccundi (*M. II*) ab apparatu primi ea rc differt, quod crepidinis loco veetis aurichalceus, cireum euspidcs chalybeas cum frictione quam minima versatilis (alio is quidem consilio posterius referendo eonfectus), eum parte superiore baeilli ehalybei pariter per hamulum iunctus erat. Hie veetis, qui non longe ab apprehensionis puncto musculi laneulam gerebat, non modo direete per hamulum ad bacillum chalybcum affixus erat, sed ad hamulum etiam tenuis alligatus erat funiculus bombyeinus, super peripheriam in modum canalis exeavatam segmenti eircularis aurichaleei decurrens, euius radius distantiae puneti apprehensionis, ubi segmentum ad vectem affixum erat, ab axe rotatorio aequalis erat.

Tali ratione molestum illud incommodum tollcbatur, quod veetis, in quo museulus agcbat, inter contractionem perpetuo brevior fiebat, qua re non tantum directio vis muscularis tractoriae, ergo etiam effectus intensitas scmpcr mutata esset, sed etiam bacillum spiram signantem gercns eontinua inferioris bacilli finis dislocatione ad punetum rotatorium versus in motu perpcndieulari esset interpellatum. Pondus, quod museulo in contractione sua vccte massisque illum insupcr oncrantibus tollcndis superandum erat, empiriee per saeoma eonstituebatur duobus filis bombyeinis affixum, quae super duas admodum mobilcs rotulas

exiguae gravitatis (ergo exiguae inertiae) ducta et bacillo chalybeo lancem ponderum aequilibrantium gerente copulata erant. Cuius eiusdem generis bacillum chalybeum alteros fines amborum filorum cum funiculo bombycino super segmentum circulare in vecte ducto iungebat.

Vectis aequilibratio, quae tali modo obtinebatur, tam perfecta erat, ut superpondium minus quam 0,5 grm. systema iam moveret. Similis apparatus aequilibratorius apud musculum alterum institutus erat, quo ita imponi posset, ut apparatus oneratorius (exemto quidem levi apparatu scriptorio) non tendens, sed plane ut superonerans musculo quiescenti annexus esset.

Partes primariae apparatus scriptorii, quo altitudo convulsiva amborum musculorum simul notabatur, hae erant: 1. parvum cymographium, cuius usus mihi benevolentia illustrissimi Helmholtz concedebatur. Erat illud cylindro in directionem verticalem nonnullis pollicibus mobili instructum, cuius celeritas conversionis variando pondere pellente, pinnis ventosis (*Windflügel*) transponendis augendaque vel comminuenda cardinis frictione (*Zapfenreibung*) intra amplos limites immutari poterat.

2. Duae pennae vitreae forma conversi U (∩), quae cum musculis iunctae in charta fuligine obducta et circa tympanum cymographicum tensa convulsionis altitudinem vel curvas notabant. Pennae enim vitreae, quarum fabricationem e tenuibus segmentis vitreis professor Boeck Christianiensis, quum Heidelbergam reviseret, docuerat, omnibus ceteris materiis ad methodum graphicam adhibitis ideo longe anteponendae sunt, quia propter magnam et

admodum perfectam elasticitatem tam tenues confici queunt, ut quam minima cum frictione super laevem chartam labentes nos non sinant metuere, ne penna in paullo asperioribus chartae locis nonnunquam adhaerescente motus verticalis bacilli chalybei, cum spira per corticem subereum ac tenuissimum bacillum vitreum coniuncti, in quendam circa asperitatem, quae vicem hypomochlii explet, rotantem mutari atque ita delineationis vero processui non respondentis ansam dare possit. Declinatio quidem a motu bacilli perpendiculari per portiones eburneas conductionem formantes, quarum superior (⊳) latus suum apertum a cylindro avertebat, certe pro iis, quae in consignandis contractionis sublimitatibus solae respiciendae sunt, escendentibus partibus altitudinis convulsivae praecauta erat: at etiam tunc stilo scriptorio adhaerescente bacillum ad musculum applicatum compressum esset, unde incommodum contractionis impedimentum exstitisset. Exigua frictione, neque minus egregia levitate etiam ad signandum in charta fuligine obducta iam adhibitae setae sive pili rigidi, si apte alligantur, excellere videntur; ibi tamen, ubi magnitudo altitudinis convulsivae exacte constituenda est, setae non sunt utiles, quoniam earum teneritas, dum minuit frictionem, simul etiam flexibilitatem adauget, ita ut facile pars quaedam vel, ubi contractio est perparva, tota convulsio solum motionem cacuminis pro delineatione lineae verticalis aut curvae efficere queat.

Ob levitatem maximam[1]) et cum ea consociatam iner-

[1]) Apparatus oneratorius a Boeck e bacillis vitreis et cortice subereo compositus et spira duplice instructus, qui in instituto physiologico Heidelbergensi exstat, pondus habet 0,5 grm.

tiam quam minimam pennae vitreae, ubi habitus musculorum sese contrahentium in nulla vel levi contractione methodo graphica explorari debet, ergo alioqui meatum stili scriptorii penitus tutantes vectes compositi, quales Helmholtz in myographio primus adhibuit, usurpari nequeunt, subsidium sunt paene pernecessarium. Inter cylindrum cymographicum et bacilla chalybea pondera gerentia tabula (*Brett*) duabus incisuris verticalibus praedita inserta erat, in cuius libera margine fissurarum pili equini illas coarctantes intensi erant, qui bacillis vitreis, spirarum coniunctionem cum filis metallicis conciliantibus, liberam quidem motionem perpendicularem concedebant, eadem vero etiam a lateralibus tuebantur fluctuationibus[1]).

Partes apparatus tab. I depicti nondum explicatae ab experimentis subinde exponendis alienae sunt et in his instituendis, quatenus cum partibus descriptis erant connexae, remotae erant. Ut modum, quo summas adeptus sum, ante oculos ponerem, tab. III ipsam duobus paribus gastrocnemiorum experimento subiectorum exhibitam scripturam addidi.

Numero I semper labor musculi crepidinem gerentis, numero II labor vectem gerentis designatur.

Dispositio experimenti iam describendi haec erat: am-

---

[1]) Aequilibratione vectis illud incommodum non tolleretur, sed una tantum cum auctione materiae indeque pendentis inertiae adaugeretur, dum in nostro apparatu perlevis apparatus scriptorius cum materiis onerantibus laxe copulatus est, quapropter eius motio modificata ponderum non alteratur.

borum musculorum, postquam non onusti[1]) suspensi et sustenti sunt, uterque 10 grmm. onerabatur. Deinde poli spiralis secundariae magni tetanomotoris a du Bois-Reymond constructi et tribus elementis Daniellis ad agendum adacti cum nervis ischiadicis amborum gastrocnemiorum sic copulabantur, ut duae pares portiones nerveae, ferme 4 mm. longae, prope introitum suum in ipsorum musculum deinceps in rivi viam insertae essent. Proinde ambo musculi (I et II) in cylindro lentissime rotante curvas in tab. III numero I signatas in seriebus „3" et „1" notabant; rivo primario converso, cuius directio omnino post unamquamque interruptionem mutabatur, et repetita stimulatione tetanica ambo curvas „2". Curvae eodem tempore notatae speciem prae se ferunt simillimam, etsi magnitudine multum differunt.

Postea uterque musculus 20grmm. onerabatur ac simplice manipulatione conductio iam descripta et schemate *A.* tab. II expressa restituebatur atque horologium octogies quaque minuta clausuram secundariam apud *a* interrumpens ad motionem adigebatur, qua ratione curvae tetanicae musculi II et pectini similes musculi I exstiterunt.

Iam levi conspectu decursus contractionum utriusque musculi discrepantiam decrescentis agendi facultatis facile cognosces. Licet ab initio contractionis altitudo musculi I

---

[1]) Musculum non onustum semper eum intelligimus, qui modo apparatum scriptorium 3 grmm. pondo gerebat, dum aliae partes apparatus oneratorii, cum filis metallicis spiram gerentibus tantum laxe iunctae, sacomatibus compensantur. In oneribus referendis cunctae partes praeter apparatum scriptorium computatae sunt.

musculo II collato magna exstiterit, in priore tamen iam post tertiam interruptionem leves modo contractiones comparent, dum musculus II contractiones adhuc gravissimas ostendit.

Posteaquam dein iunctura sic immutata est, ut musculus I tetanisaretur et musculus II ad contractionem adduceretur, ille pro solido tetano convulsiones (t'), hic tres pectini similes curvas ambitu relative magno ostendit. Post requietem quinque minutarum et dispositionem rursus immutatam curvae quidem amborum musculorum iam partae refectionem produnt, sed hic quoque in musculo I effectus secundarius magnae exhaustionis praegressae apertissimus est, dum musculus II adhuc sat amplam contractionem tetanicam conficere potest, quo tamen facto ad stimulationem confestim insequentem vixdum reagit.

Quum iam tertio partes cum musculo I mutavit, musculus II stimulo tetanico ad utrumque applicato haud aliter atque ille se habet, id est, paene plane agendi impos existit. Opposita in universum celeriore musculi I defatigatione in musculo II decursus in parte curvae convulsivae descendente longe magis praeceps cernitur quam in musculo I, cuius singulae contractiones inter tris primos, in statu valido productos complexus convulsivos adhuc satis amplae sunt, dum curvae tetanicae axem abscissae iam contigerunt.

Eadem ratio in omnibus similiter factis experimentis rediit, nisi quod ibi minus manifesta erat, ubi onerationes erant permagnae, veluti in exemplo secundo, quod delineavimus.

Itaque depressio irritabilitatis per tetanisationem effecta, quamvis tantum in modum transitorium, tamen citius manifestari videtur quam ex labore mechanico oriunda.

Effectum perniciosum potissimum stimulatione provocari celeri indicatur desidentia a maximo contractionis, quam desidentiam iam a Weber[1]) animadversam posterius Wundt[2]) coxfirmavit, qui idem insuper adiecit, curvas tetanicas a se partas defatigationem Weberianis celeriorem ostendisse: eam, puto, ob causam, quod ictus tetanomotoris (apparatus traharii a du Bois-Reymond inventi), quo Wundt usus est, sese citius excipiebant quam tetanomotoris a Weber adhibiti (apparatus rotatorii electromagnetici Saxtoniani). Refectio ex effectu rivorum pernicioso mirum quantum celeris nostro in casu altitudine contractionum diutius sibi constante declaratur, si singuli stimuli per intervalla musculi prolongationem et cum ea refectionem concedentia in musculum agunt atque oneratio non tanta est, ut defatigationem valde acceleret. Eadem refectio in experimento, quod iam memoravimus, a Wundt[3]) facto cernitur, unde musculum rivis tetanicis per intervalla stimulatum, quorum spatium illi contractionis antegressae aequale sit, longius per tempus suam altitudinem convulsivam non mutare elucet; nec minus illa refectio ex hac experientia quotidiana patescit, musculum, cuius curva tetanica sub stimulatione perpetua in axem abscissae relapsa est, si antea adhuc validus erat, post interruptionem brevissimam fereque momentaneam rursus usque ad magnam altitudinem se contrahere.

---

1) L. c. p. 70. — 2) L. c. p. 183. — 3) L. c. p. 190.

Similem refectionem celerem defatigationi labore mechanico adductae succedere ex experientia non est probabile et rebus subinde afferendis veri etiam dissimilius redditur. Namque nobis arbitrari non licet, in vera virium consumtione, quae mutationibus chemicis resarciantur, compensationem tam celerem existere posse, quam nostro in casu animadvertimus, qua re etiam du Bois-Reymond[1]) commotus negativam rivi fluctuationem in musculorum contractione non duxit sequelam iacturae virium in contractione interdum factae.

Quodsi Volkmann et Weber defatigationem in decursu contractionis comparentem et e magnitudine laboris inter musculi contractionem suspensam statuerunt, nisi ii quidem observatione, quam prior auctor fecit, fortioris contractionis superonerati (*b*) musculi onusto (*a*) musculo comparato, fortiorisque in stadio contractionis posteriore onerati musculi quam in priore onerati (*d*) musculi, sicut fortioris pondere levi post elationem ad maximum contractionis exonerati musculi quam pondere gravi exonerati (*e*) musculi[2]): illud praetermiserunt, quod in cunctis his experimentis minus differentia laboris mechanici patrati[3])

---

[1]) Untersuchungen über thier. Electr. etc. II. 1. p. 563.

[2]) In Volkmannianis *c* musculis de defatigatione ex labore perfecto omnino sermonem fieri non posse inde liquet, quod iis in maximo demum contractionis pondus annexum est, iidem igitur, ut Volkmann ipse ait, „der Mühe des Hebens gänzlich überhoben sind,“ ergo plane nullum praestant laborem sensu mechanico.

[3]) Respecta hac Volkmanniana opinione id, quod idem auctor paullo post (vid. Müller's Archiv. 1857. p. 43) addit, mirum videtur.

quam potius alia plus minusve turbantia momenta, velut antegressa onusti (*a*) musculi tensio[1]) comparato (*b*) musculo, maior vel minor inhibitio contractionis (*c*) musculi, ocius seriusve oriunda vis contractioni musculari reluctans (*d* methodus) maximum convulsionis deprimunt.

Idem non solum eo comprobatur, quod tales contractionis differentias non reperimus, si alium in modum laborem musculi grandiori magnitudine, quam sunt eae, de quibus hic agitur, augemus, quum verbi gratia pondus musculo tollendum aliquantulo adaugemus[2]); aut si per

---

Nimirum usus effectum musculo patratum (quem magnitudini laboris synonymum definit) in *a* methodo, licet maior sit elationis altitudo, maiorem esse negat quam in *b* methodo, quia, ut ait, „der Theil der Contraction, welcher die vorausgegangene Dehnung wieder ausgleicht, nur eine Störung des bezweckten Nutzeffectes wieder gut macht, nicht aber positiven Vortheil bringt.“ Ad quam nonnihil scrupulosam sententiam etiam Ad. Fick (Lehrbuch der Physiologie p. 87) accessit, ratus is quidem, in musculo ponderibus tenso illam contractionis partem, quae tantummodo priorem prolongationem rursus tollat, non laboris mechanici praestationem censendam esse. Proinde in contractione tetanica effectus mechanicus foras transferendus etiam minor foret, quam quantus contractionis altitudine maxima constituitur, quandoquidem pondus una cum musculo sese prolongante paullatim desidit, ergo vivam suam vim ex parte maxima in musculum transfert atque adeo cum celeritate quam minima suum punctum fulciens contingit.

[1]) Perniciosus tensionis effectus, quum Wundt (l. c. p. 19. 34. 70) et contractionis altitudinem post continentem musculi non actuosi onerationem deprimi et telam muscularem per tensionem adeo parum intensivam diutiusque in telam agentem ratione destructiva mutari observaverit, nullo pacto addubitari potest.

[2]) In musculis adhuc validis Weber (l. c. p. 75) contractionis altitudinem non differre vidit, quum 5 vel 10 grmm. onerarentur.

methodum quandam, cuius infra mentionem faciam, musculo magni laboris praestationem concedimus, quin decursum convulsionis valde interpellemus, ubi contractio musculi maior est, quam quum pondere tollendo operatur: verum etiam hac observatione Volkmanniana[1]) confirmatur, musculum, qui ineunte stimulatione tetanisante per breve tempus (0,211 secund.) fixus teneatur et deinde expediatur, non tantopere contrahi, quam quum omnino liber sese contrahat.

Videtur igitur quaevis contractionis alteratio statim vim perniciosam in contractionis amplitudinem exercere, quae quidem vis plerumque breve modo tempus tenet, dum labor mechanicus, sane sub conditionibus communibus cum magnitudine reliquae musculorum contentionis accrescens, gravem defatigationem citioremque exhaustionem universae agendi potestatis musculi secum fert.

Quod iam ad alterum spectat musculorum par, cuius contractio tab. I adumbrata est, primum musculi denis grammatibus onerati, quum rivis intermittentibus explorarentur, in quorum conductionem ambo nervi deinceps inserti erant, discrepantiam agendi facultatis pari sensu ostendebant ac musculi primi experimenti. Hic tamen musculus I 86 grmm. superoneratus tetanisabatur et musculus II per intervalla $^6/_8$ secund. stimulabatur. Rursus differentia defatigationis in gratiam musculi tetanisati non potest non agnosci. Dum enim musculus I, qui initio 6,5 mm. brevior fiebat, contractione octava adhuc 3,5 mm.

[1]) Erwiderung auf Weber's letzte Abhandlung. In Reichert's u. du Bois-Reymond's Archiv. 1860. p. 157.

contrahitur, musculus II iam laborare desiit. Quod diversum irritabilitatis spatium non ex differentiis individualibus, quae ex altitudine contractionum musculi I principali colligi possint, repetendum esse, id non tantum analogia omnium aliarum explorationum, sed et magna agendi potestas musculi II ab initio declarata probat.

Post primam dispositionis immutationem et requietem quinque minutarum musculus I plures exhibet amplas contractiones, dum irritabilitas musculi II post unam convulsionem penitus sublata est, neque iam recreatio quinque minutarum quidquam proficit. Contra musculus I adhuc aliquoties pondus non parum tollere potest.

Haud supervacaneum nobis visum hisce rebus expositis adhuc est nonnullas experimentorum similiter institutorum tabulas et eas quidem, quo facilius rectiusque intelligantur, sermone vernaculo conscriptas adiungere, quoniam haec experimenta ex meo iudicio propterea vim probandi singularem habent, quod in iis faciendis ambo musculi considerandi sub conditiones redacti sunt, quae, si sententiae a nobis latae non rectae essent, potius summam contrariam quam partam afferre debuissent.

Defatigatio scilicet ex stimulatione pendens, quam iam docuimus neutiquam levem esse[1]), musculo tetanisato magis manifestari debet quam cum intermissione stimulato, quia illum non tantum intra stimulationis periodos plures ictus quam hunc feriunt, sed etiam intra intervalla, ubi conductionem secundariam formans nervus musculi II exsertus

[1]) Cfr. Volkmann, Versuche und Betrachtungen über Muskelcontractibilität. In Mueller's Archiv. 1858. p. 278.

est, intensitate duplicata. Praeterea vero — siquidem tam celerem recreationem ex defatigatione labore adducta fieri posse opinaremur, qualem maiore ex ambitu curvarum pectini similium deducere possis atque Volkmann statuit, quippe de defatigatione inter contractionem oriente et magnum contractionis adscensum inhibente locutus, quae dumtaxat idcirco in convulsione proxima non iam conspicua sit, quod eam „eine fast ebenso vollständige als merkwürdig rasche Wiederherstellung der verbrauchten Kräfte[1])" mox evanidam faciat — etiam intervalla reficientia, licet sint brevia, eo conferre deberent, ut totus operationis decursus protraheretur, quum tam experientia quotidiana quam necessariae ex rebus postea memorandis consecutiones nobis ratiocinari permittant, intra certos quosdam terminos cum magnitudine intervallorum inter singulas contentiones recreantium spatium laborandi facultatis et summam laboris superandi universam increscere.

Exemplum subinde relatum imprimis est notabile, quia stimulatione ischiadicorum deinceps in rivi viam insertorum tetanisante portiones curvarum, ambobus illorum gastrocnemiis aeque oneratis signatae (specie rectangulorum, uno quidem latere deficiente), propter plane aequalem altitudinem et constantiam nobis de musculorum irritabilitate ab initio pari argumentari concedunt.

Mensiones ad numerorum valores in omnibus, quae subsequuntur, tabulis exhibitos constituendos ope vitri lenticularis duplo augentis atque virgae mensoriae in milli-

---

[1]) Vid. Mueller's Archiv. 1857. p. 40.

metra dimidia divisae factae sunt: methodo igitur, quae sane altum subtilitatis gradum contingere nequit, sed ad longitudinis mensiones usque ad $^1/_4$ mm. exactas plane sufficiebat. Taxatione facile etiam minores partes millimetri fractae erui potuissent, attamen ad disquisitionis finem maior exactio nobis non necessaria videbatur. Sed constituentes magnitudinem ut multiplum $^1/_4$ mm. ita egimus, ut proximos valores altiores reciperemus, simulac proximi inferiores plus quam $^1/_8$ mm. superabantur.

Celeritas puncti cuiuspiam peripheriae cylindricae in rotatione inter experimentum subinde referendum est 1,283 mm. unaquaque secunda, ergo 1 mm. respondet 0,779 sec.

Onus utriusque musculi inter totum experimentum est 68 grmm. pondo, quae sub musculi quiete sustenta, ergo superonerantia ducenda sunt.

Directio rivi primarii post quamque eius interruptionem immutatur. Spatium interruptionis rivi primarii tenet 30 sec.

Bei Tetanisirung beider Muskeln contrahiren sich: **I.**

Muskel I.	**Muskel II.**			
3,75 mm.	3,75 mm.	und beide verharren während der ganzen Dauer der Reizung	3 Sec.	auf dem anfänglichen Verkürzungsgrade.
3,5 „	3,75 „		3,5 „	

Muskel I (tetanus).				**Muskel II.** Einzelne Zuckungen in Zwischenräumen von $^6/_7$ Secunden einander folgend.			
Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanuscurve. Mm.	Höhe 1,5 Sec. nach Beginn der Contract. Mm.	Dauer des Reizes. Secund.	Maxim. Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Mittlere Höhe von je 5 Contractionen. Mm.	Zahl der Contract. einer Reizungsperiode.	Bemerkungen.
Auf dem sogleich erreichten Maximum der Contraction verharrt der Muskel 1,17 Sec., wonach die Curve allmälig zur Abscisse zurücksinkt.	3,5	3,5	17	3,5	3,4	20	Die erste Zuckung erreicht die Maximalhöhe.
Curve steiler abfallend als die erste.	3,0	2,75	12	3,0	2,9	15	
.	2,0	1,0	5	2,0	1,35	6	
	3,0	2,5	8	2,5	0,5 2,3 0,85	11	eine Zuckung.
	2,5	0	4	1,5	0,7	5	
	2,75	0,5	3	1,0	0,75	8	
					1,0 0,5 0,25		3 einzelne Zuckungen.
	2,25	0	3	0,5	0,5 0,25	2	2 einzelne Zuckungen.
	2,25	0	3	0	0	0	
Muskel I und II tetanisirt wie zu Beginn des Experiments.							
Muskel I	2,5	0	3	0	—	—	
	1,25	0	3	0	—	—	

Non est, quod hanc tabulam fusius explicemus. Celerior musculi I defatigatio musculo II collato per celerem decrescentiam valorum ordinatorum maximorum (*Maximal-Ordinatenwerthe*) curvarum ambobus musculis eodem tempore signatarum clare exprimitur. Simul notabile videtur, hic quoque decrescentiam irritabilitatis musculi tetanisati praesertim curvis brevioribus, id est, citiori deminutione singulorum valorum ordinatorum declarari, dum defatigatio musculi II potissimum quadam singularum altitudinum demissione manifestatur et in postremis demum curvis spatium laboris spatio stimulationis non iam respondet. Etiam hoc in experimento, sicut in secundo imaginibus illustrato, demissiones curvae pectini similis usque ad axem abscissae porriguntur.

Mirum autem videtur, quod musculus II nonnullis contractionis periodis defatigatus non ad unamquamque stimulationem respondet, sed interdum nonnullis stimulis praetermissis rursus aliquot easque interdum non leves contractiones repetit. Possis quidem suspicari, turbatione aliqua transitoria in mechanismo apparatus conductorii complicato exorta intensitatem stimulationis interpellari, verumtamen id frequentiore mea observatione refellitur, cuius in experimentis alibi enarrandis, quae in musculis per singulos fortes inductionis ictus stimulatis institui, mentionem faciam, scilicet etiam tum, quum de magna intensitatis stimulationis inconstantia cogitari nequeat, musculos valde fatigatos non amplius cuique ictui electrico convulsione respondere. Nolim hic coniecturis indulgere, utpote quae nondum sint tempestivae. Versamur in aeque obscuris

atque iucundissimis effectuum cumulativorum finibus, quorum cultura, praesertim quod attinet medicamenta, praeclaros adhuc fructus in lucem prolatum iri arbitror. Circa physiologiam muscularem Wundt[1]), quod equidem sciam, primas huc spectantes animadversiones gravissimas fecit.

In tabula autem subinde sequente rationem primi exempli in modum exquisitum videbis, namque maxime in principio demissiones magna altitudine super axem abscissae porriguntur.

Comparationi rursus ambo gastrocnemii ranae serviunt, quorum nervi ischiadici modo memorato stimulantur.

Dum hoc fit experimentum, quodque punctum superficiei cylindricae rotantis celeritate 0,57 mm. singulis secundis movetur, ergo 1 mm. respondet 1,75 sec. Uterque musculus 10 grmm. oneratus est.

Summae operationum, quas dein in musculis instituimus in tabula subsequente compositae sunt.

Stimulatione per fortes ictus, quos vocamus *Schliessungs-Inductionsschläge*, ambos nervos deinceps ferientes contrahitur

musculus I 3,25 mm.
musculus II 3,5 mm.

---

[1]) Ueber secundäre Modification der Nerven. In Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv. 1859. p. 537 sqq.

Muskel I tetanisirt.

Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanus-curve. Mm.	Höhe 3,5 Sec. nach Beginn der Contr. Mm.	Da d Rei Sec
Das Zuckungsmaximum wird erst 3,9 Secunden nach Beginn der Contraction allmälig erreicht; dann verläuft die Curve mit der Concavität der Abscissenachse zugekehrt herab.	7,75	7,5	1[illegible]
Der Muskel erreicht bald das Zuckungsmaximum, verläſst dasselbe erst nach 1,3 Secunden und verlängert sich dann mit beschleunigter Geschwindigkeit.	6,5	5,0	1[illegible]
Die Curve zeigt einen steil zum Maximum ansteigenden Verlauf und wendet nach 0,57 Secunden ihre Convexität der Abscissenachse zu, mit derselben sich allmälig vereinigend.	6,75	4,0	30
Das bald erreichte Maximum verläſst der Muskel nach 0,87 Secunden und kehrt dann mit anfänglich beschleunigter Geschwindigkeit zu seiner natürlichen Länge zurück.	7,0	4,50	30
Die steil ansteigende Curve sinkt sogleich vom Maximum, ihre Convexität der Abscissenachse zukehrend, zu derselben herab.	7,75	4,25	14
Gegen die Abscissenachse convex abfallende Curve.	6,75	3,5	22
Steiler abfallende Curve als die vorige.	6,5	2,25	14
Curve mit steilem absteigenden Theile.	5,75	1,0	9

Muskel II

…ird in Zwischenräumen von 6/7 Sec. während jeder Reizungsperiode eben so lange gereizt.

…axim. …he einer …eizungs- …eriode. Mm.	Mittlere Höhe von je 5 Contractionen. Mm.	Minima der kammförm. Curve von 5 zu 5 Zuck. Mm.	Zahl der Contract. einer Reizungs-periode.	Bemerkungen.
8,5	2,45 2,55 2,30 2,55 2,50 (2 C.)	3,0 4,5 6,0 3,75 2,5	22	Die erste Contraction beträgt 4,5 mm., worauf sich die Werthe der Erhebungshöhen bis 6 Secunden nach Beginn der Reizung zum Maximum steigern.
6,0	2,45 2,25 2,25 1,75 (3 C.)	2,25 3,0 2,5 2,25	18	Die erste Contraction beträgt 5,0 mm., die zweite erreicht das Maximum.
…,5	2,85 2,55 2,20 2,10 2,05 2,0 1,94 (4 C.)	1,75 2,56 1,75 1,5 1,5 1,5 1,25	34	Die 1. Contraction = 4,25 mm., bei der 2. das Maximum erreicht.
…,0	3,05 2,0 1,55 1,50 1,45 1,25 1,0 (2 C.)	1,0 2,0 1,25 1,25 1,0 1,0 0,75	38	} Die erste Contraction erreicht das Maximum.
…,0	1,8 0,7 0,3	1,0 1,25 1,0	15	
…,0	1,8 0,85 0,5 0,35 *	0,0 0,75 0,5 0,25 0,0	20	* Verschwindende Schwankungen.
…,25	1,5 0,3 *	0,0 0,75	10	* Geringe Schwankungen.
…,25	0,8 0,25 (1 C.)	0,0	6	

II.

Muskel I tetanisirt.

Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanus-curve. Mm.	Höhe 3,5 Sec. nach Beginn der Contr. Mm.	Da[illegible] d[illegible] Rei[illegible] Sec[illegible]
	5,5	1,0	5[illegible]
	5,5	0,5	4[illegible]
	4,5	0,0	3
2,6 Secunde nach Beginn der Contraction erreicht die Curve die Abscissenachse.	4,0	0,0	3
2,0 Secunde nach Beginn der Contraction erreicht die Curve die Abscissenachse.	3,75	0,0	3
Die Curven sind zu einer Ordinate, die Maximal-Zuckungshöhe bezeichnend, zusammengeschrumpft.	2,5	0,0	3
	2,5	0,0	—
	2,5	0,0	—
	2,5	0,0	—
	2,25	0,0	—

Nach 5 Minuten Ruhe

Die Curve erreicht 3 Secunden nach Beginn der Contraction die Abscissenachse.	5,0	0,0	5
Ordinatenwerth nach 1,75 Secunden = 0.	5,5	0,0	3
Curven in Gestalt einzelner Erhebungen und Senkungen.	2,5	0,0	—
	2,25	0,0	—
	2,5	0,0	—
	2,5	0,0	—
	2,0	0,0	—

Muskel II

wird in Zwischenräumen von $^6/_7$ Sec. während jeder Reizungsperiode eben so lange gereizt.

Maxim. Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Mittlere Höhe von je 5 Contractionen. Mm.	Minima der kammförm. Curve von 5 zu 5 Zuck. Mm.	Zahl der Contract. einer Reizungsperiode.	Bemerkungen.
1,25	1,25 0,5 0,25 0,25	0,0	4	
1,0	1,0[1] 0,5	0,0	2	[1] Geringe Schwankungen.
0,75	0,75[2]	0,0	1	[2] Leise Schwankungen.
0,0	0,0	0,0	0	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	

werden beide Muskeln tetanisirt.

0,75	—	—	—	
0,5	—	—	—	
0,0	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	
—	—	—	—	

Praeter celeriorem, quam iam antea animadvertimus, musculi laborantis, si tetanisatum contuleris, defatigationem et decrescentiam agendi potestatis musculi I, se potissimum brevioribus curvis tetanicis manifestantem, in experimento supra proposito ea iam in primo specimine conspicua comparet proprietas, ut demissiones curvae operatoriae pectini similis musculi II non pertineant ad axem abscissae, quo omnem musculi prolongationem nondum absolutam esse, quando eum recens stimulus feriat, aperte indicatur. — Nonnunquam adeo musculus per intervalla stimulatus, si valde irritabilis est, aliquamdiu in tetano continuo[1]) perseverat. — Debemus igitur, quum requietis tempus $^5/_7$ vel $^5/_8$ sec. musculo inter binas convulsiones concessum plus quam satis sit, ut ipse convulsionem duplicis et multiplicis stimulationis perficiat, de effectu quodam stimuli secundario cogitare, simili quidem illius, quem Wundt[2]) in casu iam commemorato, ubi defatigationis momenta atque convulsiones in musculis minus oneratis perscrutabatur, animadvertit, intra quem tamen effectum secundarium energia musculi iam eatenus lapsa est, ut contra vim tractoriam ponderum maiorum non iam possit resistere.

Tertiam insuper addamus tabulam, eo multum modificatam, quod ibi singulae stimulationis periodi et recreationis intervalla breviora eligebantur quam in experimentis superioribus, differentiae igitur inter ambos musculos circa laborem intercedentes non ita magnae sunt.

---

[1]) Huc forsitan spectat, quod Munk (in Reichert's u. du Bois-Reymond's Arch. 1861. p. 488) observavit, interdum uno inductionis ictu tetanum provocari. — [2]) L. c. p. 190.

Conductio rivi primarii per magnam rotam metallicam cum rota scansoria horologii Melanylaei coniunctam clauditur et aperitur, quae rota metallica regularibus intervallis 5 sec. intermissis rivum catenae primariae semper per tantumdem temporis clausum interrumpit vertitque.

Simul perpendiculo septuagies in minuta modo relato interruptio conductionis ad nervum alterum conciliatur.

Inter experimentum ambo gastrocnemii 40 grmm. onerati sunt. De reliquo dispositio ei, qua in exemplis superioribus usi sumus, prorsus analoga fuit.

Bei Tetanisirung beider Muskeln contrahiren sich:

	Muskel I.	**Muskel II.**
	4,75 mm.	4,75 mm.
III.	4,0 „	4,25 „

Muskel I tetanisirt.			**Muskel II** in Zwischenräumen von 5 Sec. intermittirend gereizt.			
Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanuscurve. Mm.	Höhe am Ende der Reizung. Mm.	Maxim. Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Mittlere Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Zahl der Contract. einer Reizungsperiode.	Bemerkungen.
Die Curve erreicht sogleich das Maximum.	4,0	4,0	4,0	4,0	4[1])	1) Die 4 Zuckungen erreichen gleiche Höhe. Die Einsenkungen der ersten Curve erreichen, wo nicht vollkommen, doch nahezu die Abscissenachse. 2) Die letzte der 4 Zuckungen ist ein Weniges geringer.
	4,0	3,75	3,5	3,5	4	
	3,75	3,5	3,5	3,25	4[2])	
	3,75	3,25	3,25	3,0	4	
	3,75	2,5	2,5	2,5	4	
	3,5	2,5	3,0	2,6	4	
	2,0	1,0	2,25	2,06	4	
	2,25	1,0	2,5	2,25	4	
	2,25	0,5	2,0	1,87	4	
	2,0	0,0	2,5	2,06	4	
	1,5	2,0	2,0	1,80	4	
Die Tetanuscurve erscheint auf eine Ordinate zusammengedrängt.	1,5	1,75	2,25	2,0	4	
	1,25	1,5	1,75	1,50	4	
	1,25	1,5	2,0	1,41	4	
	1,5	1,5	1,75	1,25	4	
	1,5	1,5	1,5	1,18	4	
	1,25	1,25	1,5	1,06	4	
	1,0	1,25	2,0	1,06	4	
	1,0	1,5	1,25	0,81	4	
	1,0	1,5	1,75	1,0	4	
	1,0	1,25	1,5	1,0	3	
	1,0	1,0	1,5	0,9	3	
	1,0	1,0	1,5	1,0	3	
	1,0	1,0	1,5	1,25	2	
	1,0	1,0	1,0	1,0	1	
	1,0	1,0	1,25	0,9	3	
	1,0	1,0	1,25	1,0	2	
	1,0	1,0	1,0	0,75	2	

Muskel I tetanisirt.			Muskel II in Zwischenräumen von 5 Sec. intermittirend gereizt.			
Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanuscurve. Mm.	Höhe am Ende der Reizung. Mm.	Maxim. Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Mittlere Höhe einer Reizungsperiode. Mm.	Zahl der Contract. einer Reizungsperiode.	Bemerkungen.
	1,0	1,0	1,0	0,62	2	
	1,25	1,0	1,25	0,91	3	
	1,25	1,0	1,0	1,0	1	
	1,0	1,0	1,0	0,87	2	
	1,0	1,25	1,0	0,75	2	
	1,25	1,25	0,75	0,58	3	
	1,25	1,0	1,0	0,75	2	
	1,0	1,0	1,0	0,62	2	
	1,25	1,0	0,75	0,75	1	
	1,25	1,25	0,5	0,5	1	
	1,0	1,0	0,25	0,25	1	
	1,0	1,0	0,5	0,5	1	
	1,0	1,25	0,25	0,25	1	
	1,25	1,0	0,25	0,25	1	Die in Folge des Reizes auftretenden Schwankungen sind nur noch durch stellenweise Verdickung der Abscissenachse bemerkbar.
	1,0	1,25	—	—	—	
	1,0	1,0	Geringe Schwankungen.			
	1,25	1,0				
	1,0	1,0				
	1,25	1,0				
	1,0	1,0				
	1,0	1,0				
	1,0	1,0				

Duae res in tabula supra apposita praecipue notabiles videntur: primum quidem discrepantia defatigationis utriusque musculi, quamvis exigua, tamen sat conspicua, tumque agendi facultas musculi laborantis experimentis prioribus comparatis diuturnior. Illud phaenomenon hinc repetendum, quod musculo tetanisato frequenti interruptione perinde laborem maiorem exsequendi occasio data est, quam

methodo priore; alterum cum sententia iam allata posteriusque adhuc confirmanda convenit, universam musculi praestationem intra certos quosdam cancellos cum spatio temporis refectorii singulis contentionibus concessi accrescere.

Quum igitur experimentum hac tabula consignatum opinionem praeiudicatam, laborem musculo patratum momentum defatigationis primarium esse, per illas cum discrepantia valorum laboris decrescente prodeuntes minores differentias decrescentis agendi facultatis confirmat simulque cum aucto requietis tempore increscentia totius ambitus laboris, qui conficitur, conspici potest; quum in primo exemplorum delineatorum discrimen circa agendi potestatem musculi tetanisati et laborando defatigati dilucide patet, quatenus hicce musculus magni laboris non amplius compos est eo tempore, quo musculus principio tetanisatus curvas adhuc sat amplas signat: in proxima tabella phaenomena modo memorata, quae in diversis experimentis separata proveniunt, una serie combinata reperimus.

Dispositio huius experimenti ei, quam in superiore tabula ineunte descripsimus, analoga fuit, nisi quod perpendiculum horologii praeclusionem et apertionem conciliantis tantopere breviatum est, ut octoginta interruptiones clausurae secundariae quaque minuta, itaque pro sex fere septem praeclusiones rivi primarii singulis minutis consequerentur.

Zwei Gastroknemien eines Frosches, beide mit je 10 gr. überlastet, contrahiren sich: **Muskel I.** 7,75 mm.
Muskel II. 7,75 „

IV.

Muskel I tetanisirt.			**Muskel II** intermittirend gereizt.		
Bemerkungen.	Maxim. Höhe der Tetanus-curve. Mm.	Höhe 5,0 Sec. nach Beginn der Contr. Mm.	Maxim. Höhe einer Reizungs-periode. Mm.	Mittl. Höhe der 4 Contr. einer Reiz.-periode. Mm.	Bemerkungen.
	6,5	6,5	6,5	6,5	
	6,5	4,5	6,0	5,62	
	6,5	3,5	6,0	5,5	
	6,25	2,5	5,75	5,37	
	6,0	2,5	5,0	4,56	
	5,0	1,25	5,0	3,68	
	5,5	2,0	5,0	4,0	
15 Sec. Ruhe.					
	6,25	4,0	5,0	4,87	
	5,5	2,0	4,75	4,06	
	5,0	1,5	4,75	3,81	Die Einsenkungen der kammförmigen Curven erreichen nahezu die Abscissenachse.
	2,5	0,5	3,0	2,31	
	3,5	0,75	3,0	2,12	
	1,5	0,0	2,0	1,56	
	2,75	0,25	2,25	1,43	
	1,5	0,0	1,0	0,75	
	1,5	0,25	1,0	0,56	
Die Curven halten sich kaum 2 Sec. über der Abscisse.	1,25	0,0	0,25	0,05	
	1,5	0,0	0,0	0,0	
	1,25	0,0	0,0	0,0	
Während 3 Minuten Ruhe Wechsel der Anordnung,	**Muskel II** tetanisirt.		**Muskel I** intermittirend gereizt.		
	5,25	3,25	6,5	6,12	
	3,0	1,5	5,5	4,25	
	1,0	0,5	3,25	3,12	
	0,5	0,5	3,5	2,87	
	0,0	0,0	2,0	1,93	
			1,75	1,56	
			1,0	0,93	
			1,25	1,06	
			0,75	0,56	
			0,75	0,5	
			0,25	0,05	

IV.

Bemerkungen.	Muskel I tetanisirt. Maxim. Höhe der Tetanus-curve. Mm.	Höhe 5,0 Sec. nach Beginn der Contr. Mm.	Muskel II intermittirend gereizt. Maxim. Höhe einer Reizungs-periode. Mm.	Mittl. Höhe der 4 Contr. einer Reiz.-periode. Mm.	Bemerkungen.
Während 5 Minuten Ruhe Wechsel der Anordnung.	6,5	3,0	5,0	3,93	
	4,25	1,5	3,0	2,5	
	2,5	1,0	2,0	1,58	3 Contractionen.
	2,0	0,5	1,25	1,0	3 -
	1,0	0,0	1,0	0,87	3 -
	0,25	0,0	0,0	0,0	
	0,25	0,0	0,0	0,0	
	Muskel II tetanisirt.		**Muskel I** intermittirend gereizt.		
	2,5	2,0	4,75	2,0	
	1,0	0,75	2,0	1,5	
	0,5	0,5	1,5	1,0	
	0,25	0,25	1,0	0,5	
	0,25	0,0	0,5	0,0	
	0,0	0,0	0,5	0,0	
	0,0	0,0	0,25	0,0	

Ut iam supra attigimus, in hoc experimento primum ea, quae citiore musculi II defatigatione efficitur, differentia circa spatium agendi potestatis amborum musculorum non tanta apparet, quanta in primis exemplorum relatorum, quoniam et crebriora atque diuturniora recreationis intervalla musculi II et frequentiores interruptiones rivi musculum I stimulantis tetanisantisque discrepantias momentorum defatigationis imminuunt. Praeterea peculiaris refectio perfecta rursus comparet, qua ille musculus eo redigitur, ut post breve requietis tempus laborem haud exiguum exsequatur, dum musculus II propter effectum defatigationis secundarium ad paucas solum, ambitu celeriter decrescentes contractiones tetanicas adigi potest.

Quae nunc exstat praestationis differentia, ea discrepantias defatigationis minuit, etsi abolere nequit, et post secundam functionum permutationem musculus I nunc tetanisatus laborantem musculum II parum modo superat, quam superationem ob exinanitionem iam longe provectam, licet minore opus sit contentione, non amplius adaugere potest. Eodem propemodum tempore agendi facultas amborum musculorum tollitur.

Ex cunctis his experimentis confirmatio sententiae a nobis initio latae, exsecutionem laboris mechanici momentum defatigationis gravissimum esse, ut summa communis evadit.

Insuper emanat, demissam irritabilitatem, quae maxime per stimulationem provocatur, modo mirum quam celeri restitui. Sane de restitutione quadam in integrum hic cogitare non licet. Aucta adeo in actione musculorum

metamorphosis chemica ab Helmholtz in iis musculis inventa est, qui *non onusti* rivis intermittentibus usque ad completam exhaustionem tetanisati erant; attamen huius generis musculi, si iis crebriora refectionis intervalla conceduntur, perdiu convulsionum compotes manent.

De aliis rebus, quae in onustis musculis tetanisandis ad deminutionem agendi facultatis valent, veluti nominatim de effectu auctae tensionis substantiae muscularis, de quo Harless[1]) in perscrutationibus eius effectus, quem musculi tetanisati per intervalla fixi in formam et magnitudinem curvarum subinde iisdem signatarum exerceant, disputavit, accuratius disserendi mihi loco posteriori occasio dabitur.

Ne hunc libellum nimis extendam, iam experimenta mea uberius enarrare desinam; propediem autem, si mihi licuerit, archivo auctorum Ill. Reichert et du Bois-Reymond cunctas a me institutas disquisitiones divulgabo, nunc in eo acquiescens, ut materiam partis secundae adhuc in brevem redigam conspectum.

Capite primo ante omnia simpliciter demonstrabitur, onustos musculos se convellentes citius quam non onustos fatigari, itemque musculos pondera graviora tollentes citius agendi potestate privari quam leviora tollentes. Ibi etiam ratio commemorabitur, quam effectus universus musculi laborantis sensu Wundtiano[2]) cum laboris magnitudine contractionis habeat, atque simul explicabitur, illum ne-

---

[1]) Sitzungsberichte der Königl. Bayerisch. Academie der Wissenschaften. Juni 1861. I. Heft 1. p. 65. sqq.

[2]) L. c. p. 231.

quaquam cum hoc parem in modum augeri. Nec minus nonnullae peculiares differentiae musculorum oneratorum (*a*) et superoneratorum (*b*) in medium proferentur.

Capite secundo de nova quadam methodo experimentali dicam, quam in usum vocavi, ut defatigans momentum praestationis laboris mechanici quam maxime ab aliis musculum debilitantibus rebus secundariis liberum declararem. Hoc consilio apparatum tab. I adumbratum, qui cum iam descriptis apparatus partibus satis perspicue iunctus est, construximus. Constat is potissimum e cruce lignea, quae circum axem per punctum decussationis positum perpendiculare potest. Alterum iugi horizontalis finem alter musculus se contrahens apprehendit, cuius energia eo angulo, quo systema perpendiculans ex sua aequilibrii positione remotum est, metiendo constituitur. Musculus secundus cum primo comparatus pondere annexo simul altitudines suas convulsivas in cylindro rotante notat.

Haec experimenta pluribus modis ac praesertim etiam sic mutabantur, ut musculus perpendiculum iam vibrans, dum id per quietis positionem transit, eiusdem motum accelerans apprehendat. Interdum etiam eodem tempore curva simplicis contractionis muscularis in myographio (*My*) Helmholtziano, quod idem tab. I indicavimus, notabatur.

Tertio denique capite paucis experimenta minus prospera attingemus, ad eam rationem explorandam instituta, quae defatigationi musculorum laborantium cum musculorum inter stimulationem in modum immobilem fixorum defatigatione intercedat.

Praeterea nonnullae nostrum theorema egregie sublevantes summae experimentorum afferentur, quae ita fecimus, ut alter musculus inter stimulationem sese prolongare cogeretur (laborem negativum praestaret, ut ita dicam), dum alter pondere modico oneratus operatur.

Sic igitur quaestiones meae dispositae sunt, quae sane, ut iam supra professus sum, tantum praecursoriae a memet ipso censentur, quum summae earum adhuc confirmandae sint, attamen spem adaugent fore, ut modo exacto sententia comprobari queat, praestatione laboris mechanici semper materiarum consumtionem convenienter auctam adduci.

Postremo mihi hoc loco adhuc liceat officio quodam gratissimo fungi, nempe Celeberrimo Wundt, physiologo in primis numerando, qui pari semper cum comitate et liberalitate, quum in laboratorio Heidelbergensi annis 1860 et 1861 explorationibus physiologicis operam darem, me earum tunc adhuc prorsus ignarum et prudentissimo consilio dando et suis instrumentis mihi commodandis egregie adiuvabat, gratias quam maximas ex animo intimo agere.

VITA.

Natus sum ego Hugo Kronecker Lignicii d. XXVII m. Ianuarii anni h. s. XXXIX patre Isidoro, quem paucas ante hebdomades dira morte mihi ereptum vehementer lugeo semperque lugebo, matre Ioanna e gente Prausnitzer, cuius obitum praematurum iam pluribus ex annis valde doleo. Fidei addictus sum veteri.

Primis litterarum elementis imbutus gymnasium Lignicicnse adii, quod tum auspiciis Cel. Koehler iam beati, deinde Cel. Mueller, viri doctissimi, florebat. Maturitatis testimonio instructus vere anni h. s. LVIII Berolini ab Ill. Rudorff, rectore universitatis litterariae magnifico, in civium academicorum numerum receptus et apud Ill. C. G. Mitscherlich, gratiosi medicorum ordinis decanum maxime spectabilem, nomen rite professus sum.

Tribus semestribus transactis Heidelbergam me contuli et ab Ill. Hundeshagen, fasces academicos tenente, in album universatis inscriptus per quatuor semestria studiis et philosophicis et medicis operam dedi.

Berolinum redux ab Ill. Magnus, rectore universitatis litterariae magnifico, civis academicus factus ab Ill. Reichert, facultatis medicae decano spectatissimo, in album medicum relatus sum. Post duo semestria ad valetudinem recuperandam Pisis hiemem transigere coactus sum.

Scholis academicis per quinquennium interfui horum virorum Illustrissimorum, Celeberrimorum, Experientissimorum:

Berolini Arndt, Braun, Dove, du Bois-Reymond, Magnus, E. Mitscherlich, Peters, Reichert, Schneider.

Heidelbergae Arnold, Blum, Bunsen, Carius, Friedreich, Helmholtz, Hesse, Kirchhoff, Nuhn, Schmidt.

Berolini de Baerensprung, Casper, Ebert, Ehrenberg, Frerichs, Gurlt, C. G. Mitscherlich, Reichert, Traube, Virchow.

In exercitationibus practicis duces mihi fuerunt:

Heidelbergae Ill. Arnold in arte cadavera secandi, Ill. Helmholtz in physiologicis, Cel. Nuhn in histologicis et in arte cadavera secandi.

Berolini Cel. de Recklinghausen in exercitationibus histologicis, Cel. Schneider in chemicis, Ill. Reichert in cadaveribus rite secandis et in cursu histologico, Cel. Traube in cursu auscultationis et percussionis, Ill. Virchow in cursu anatomiae pathologicae demonstrativo.

Scholas clinicas frequentavi medicas Ill. Frerichs et Cel. Traube, chirurgicas et ophthalmiatricas Ill. Iuengken et Ill. Langenbeck.

Quibus viris omnibus gratias ago quam maximas.

Imprimis vero praeceptores excellentissimi Traube et Helmholtz de me insigniter meriti sunt, utpote qui, quum scholis eorum Berolini et Heidelbergae magna cum voluptate magnoque cum emolumento interessem, me consuetudine sua perquam honorifica liberaliter dignarentur atque studia mea non modo dirigerent, sed etiam mirum quantum sublevarent ac promoverent. Itaque quem hoc loco illis viris declaro animum gratissimum, eum perpetuo servabo et pro viribus praestabo.

Neque minus praedicaverim, quod mihi contigit, ut fratre dilectissimo, geometra clarissimo gauderem, qui mihi inde a puero dux erat familiaris.

Cuius quanta sint de me meoque animi cultu merita, dici plane nequit, ut verear, ne ei nunquam quam debeo gratiam digne referre possim.

THESES.

I. Succidium non est minus scelus quam alterius occisio.

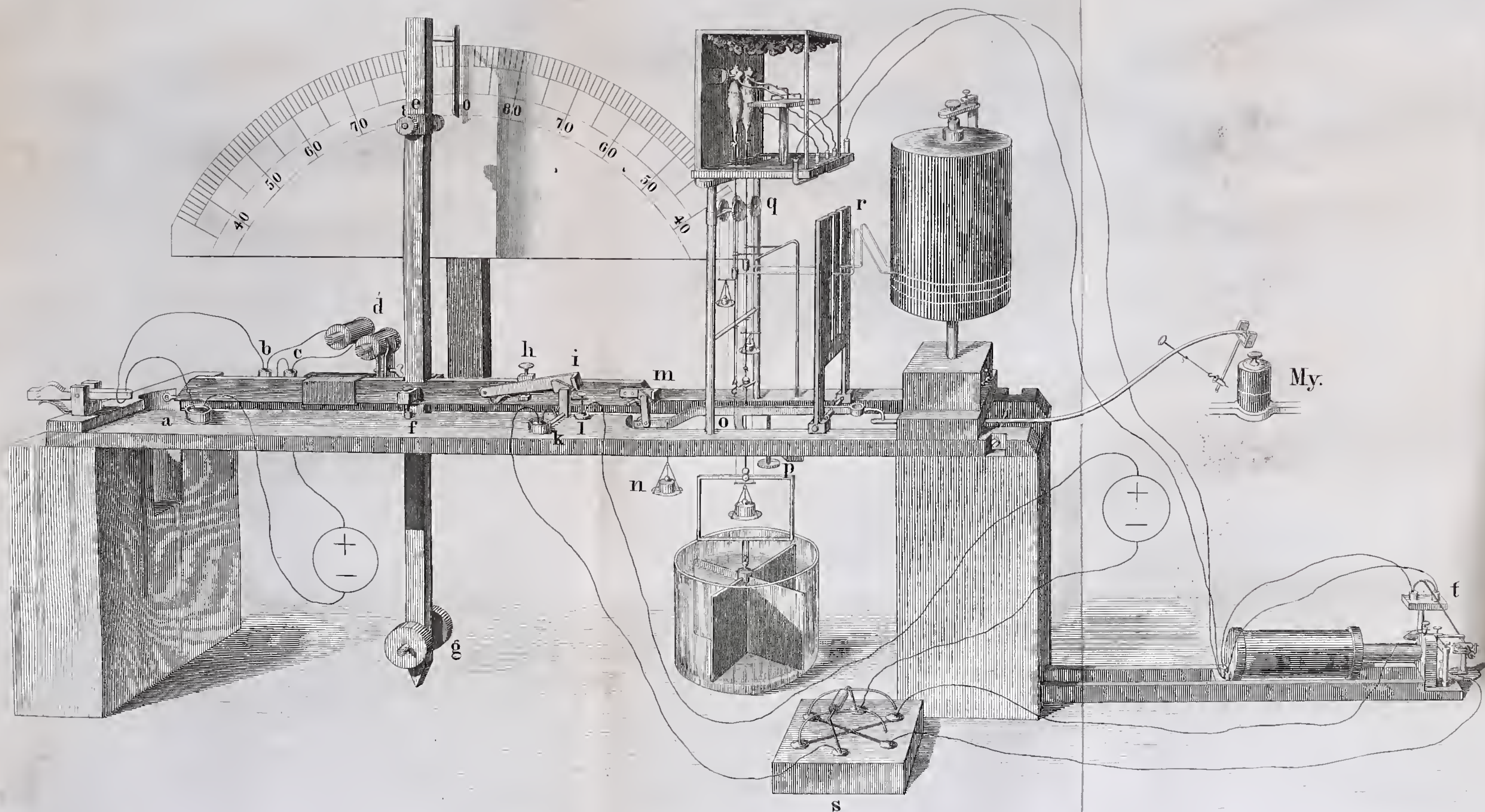
II. Corpora organica non aliis reguntur legibus quam anorganica.

III. Utilitas non est lex naturae.

IV. Temperatura in febri aucta non efficitur aucta consumtione.

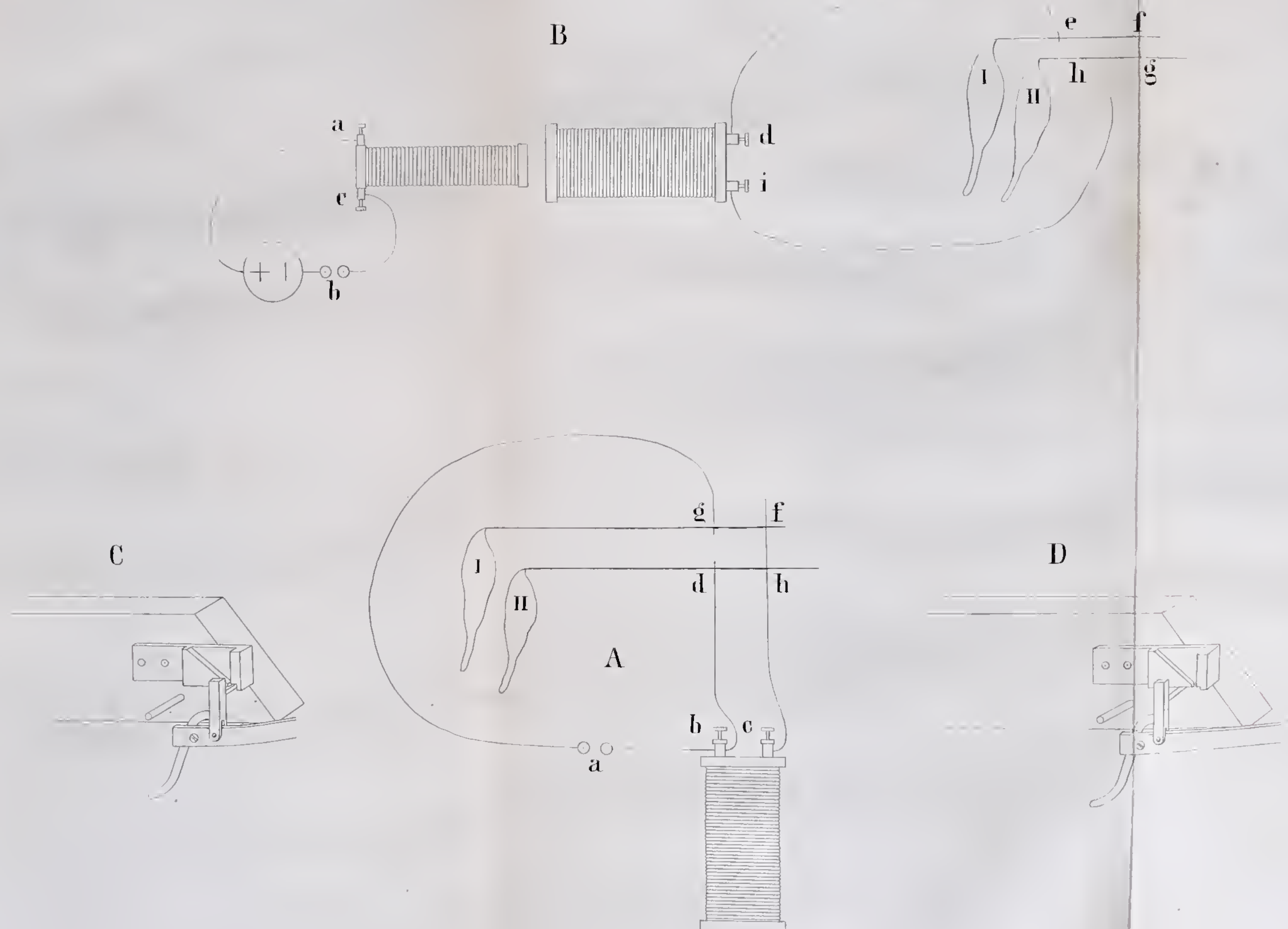
V. Musculorum defatigatio summatim nihil est aliud nisi status, in quo expensis superantur accepta.

Taf: I.

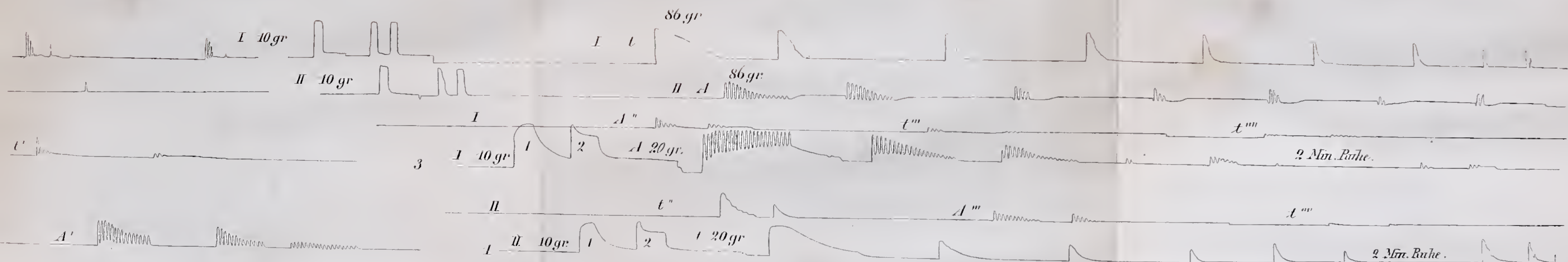


gestochen v. P. Kadeder

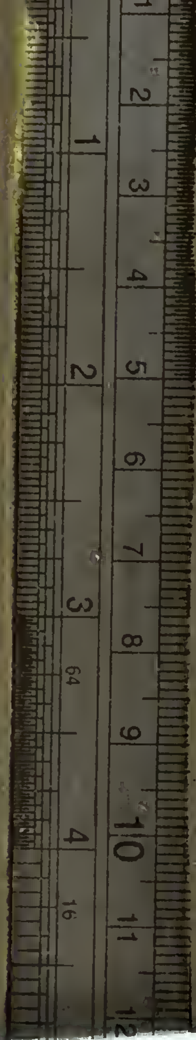
Taf: II.



Taf. III.



86 gr
I 10 gr
I t
II 10 gr
86 gr
II A
I
A''
t'''
t''''
t'
3
I 10 gr
1
2
A 20 gr.
2 Min. Ruhe.
II
t''
A'''
t''''
A'
1
II 10 gr
1
2
1 20 gr
2 Min. Ruhe.





TABLE(S)
RUN INTO
GUTTER

